Aus dem Röntgeninstitut (Vorstand: Oberarzt Dr. Albert Kohler)
bei der Chirurgischen Klinik der Universität zu München
(Vorstand: Prof. Dr. G. Magnus).

Die Dosisverteilung bei der Pendelbestrahlung am Kopf.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin.

Verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät der Bayerischen
Ludwigs-Maximilian-Universität zu München
vorgelegt
von

Werner Henniges
aus Drenke.

München, den 20. Juni 1940.

Gewidmet

meinen lieben Eltern

Buchdruckerei Georg Rauscher, München 15, Fliegenstraße 3

Gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Bayerischen Ludwigs-Maximilian-Universität
zu München.

Referent: Oberarzt Dr. A. Kohler.

Tag der mündlichen Prüfung: 15. VII. 40.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Aus dem Röntgeninstitut (Vorstand: Oberarzt Dr. Albert Kohler)
bei der Chirurgischen Klinik der Universität zu München
(Vorstand: Prof. Dr. G. Magnus).

Die Dosisverteilung bei der Pendelbestrahlung am Kopf

von

Werner Henniges

(Inaugural-Dissertation)

mit 6 Bildern.

Einleitung.

Ein glücklicher Zufall hat es gewollt, daß die Röntgenstrahlen, die 1895 entdeckt wurden, kaum ein Jahr später sowohl diagnostisch als auch therapeutisch in umwälzender Weise in die Medizin eingegriffen haben.

Die Röntgentherapie wurde 1896 durch Freund (1) in Wien begründet. Gelegentliche Beobachtungen von Haarausfall nach Untersuchung mit Röntgenstrahlen hatten Freund dazu angeregt, die epilatorische Wirkung dieser Strahlen in einem Fall von Naevus pilosus therapeutisch zu verwerten und bis 1902 ist es ausschließlich die Dermatologie, die aus der Wirkung der Röntgenstrahlung Nutzen zieht. Bis dahin war von einer Einwirkung der Röntgenstrahlen auf innere Organe nichts bekannt.

Im Jahre 1902 machte nun der amerikanische Arzt Nicholas Senn (2) in Chikago die Mitteilung, daß es ihm gelungen sei, in einem Fall von Leukämie durch Röntgenstrahlung nicht allein das Blutbild im günstigen Sinne zu verändern, sondern auch die Schrumpfung der leukämischen Milz- und Drüsenschwellung herbeizuführen und den schweren Krankheitszustand zu beseitigen. Senn erscheint daher als Begründer der Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen. Die Frage der Tiefenwirksamkeit der Röntgenstrahlen wurde jedoch erst durch die Erforschung Heinekes (1) im Jahre 1903/4 geklärt und die für die weitere Entwicklung der Strahlenheilkunde als grundlegend gelten müssen. Heineke zeigte in welcher Weise eine Wirkung auf innere Organe zustande kommt, welche Gewebe sich hier der Strahlung gegenüber besonders empfindlich erweisen, so daß eine therapeutische Verwertung der Röntgenstrahlen bei Erkrankung bestimmter innerer Organe wohl

im Bereich der Möglichkeit erschien. Im Jahre 1910 erfuhr die Tiefenbestrahlung einen neuen Antrieb durch Anwendung der Röntgenstrahlen in der Gynäkologie, in erster Linie zur Behandlung des Uterusmyoms. Durch Kunstgriffe aller Art, hauptsächlich durch Ausbildung der Strahlenfiltertechnik und der Wahl der Bestrahlungsfelder, wird die Bestrahlungstechnik vervollkommnet. Versuche, Karzinome mit Röntgenstrahlen zu beeinflussen, wurden schon bald im Anschluß an die zellzerstörende Wirkung der Röntgenstrahlen gemacht. Die ersten tastenden Versuche in der Tiefentherapie 1904 und später sind mit gewöhnlichen diagnostischen Röntgenapparaten gemacht worden. Mit dem ersten Spezialapparat wurden in der Czerny'schen Klinik in Heidelberg Dauerversuche mit den damals höchsten zu erreichenden Strahlenhärten gemacht. Diese Versuche standen unter dem Leitgedanken, Geschwülste mit möglichst hohen Dosen zu bestrahlen, die Haut und das den Krankheitsherd umgebende Gewebe möglichst weitgehend zu schonen. Ein brauchbares Verfahren wurde in der Kreuzfeuerbestrahlung von Gauß-Lembke gefunden, bei der von einer größeren Anzahl kleinerer Felder konzentrisch der Strahlenkegel nach dem Tumor geschickt wird, wodurch eine größere Strahlenmenge als bisher in der Tiefe erreicht wurde. Auf der Grundlage dieses Prinzips wurde zunächst eine Weiterentwicklung gesucht mit dem Ziel, die Tiefendosis noch weiter zu erhöhen. So berichtet v. Wieser (3) 1914 in Verh. deutsch. Röntgen-Gesell. 10 : 177 über die Röntgenlinse, die den Vorläufer der Konvergenzbestrahlung darstellt. Sie besteht aus einer Wabenblende aus Blei, deren Waben sich konisch nach unten verjüngen. Die andere Methode wurde von Kohl (4) in der Rotationsbestrahlung gefunden. Einen anderen Weg zur Verbesserung der Strahlenwirkung ging Hans Meyer (5) mit seiner Methode der „Schwingenden Röhre". Einen weiteren Ausbau und die Erprobung dieser Bestrahlungsmethoden in der Praxis verhinderte der Weltkrieg, und sie gerieten danach fast völlig in Vergessenheit, und nicht zuletzt war die Erfindung der Glühkathodenröhre und die Entwicklung der Hochspannungstechnik, die einen anderen Weg zur Erhöhung der Tiefendosis zeigten, schuld daran.

Erst in den letzten Jahren kamen mehrere Röntgenologen auf die Bedeutung der räumlichen Verteilung der Strahlendosis zurück, M. Nakaidzumi (6) in Form der in Strahlentherapie 59 : 168 beschriebenen Konvergenzbestrahlung, F. Dessauer, K. Lion und M. Gökmen (7) damit, daß sie den Patienten bei stehender Röhre um eine horizontale Achse drehen ließen und A. Kohler (8), der in der Mschr. f. Krebsbekämpfung 5 : 125 die Abbildung eines von ihm mit höchster technischer Vollkommenheit gebauten Pendelgerätes zeigt und die Wirkungsweise desselben schildert.

Versuchsanordnung.

Die Pendelbestrahlung wurde mit einer Röntgenapparatur nach A. Kohler ausgeführt, die mit einer Stabilovoltanlage der Siemens-Reiniger-Werke ausgerüstet ist. Als Phantom diente ein Paraffinmodell eines Kopfes, das unter Anleitung von A. Kohler hergestellt wurde. Zu den Messungen wurden zwei Hammer'sche Dosimeter und mehrere Kugelmeßkammern mit einem Kondiometer der Physikalisch-Technischen Werkstätten Freiburg i. Br. (9) benutzt. Diese Kugelkammern sind zuerst von R. M. Sievert (10) beschrieben und später von K. G. Zimmer (11) verbesssert worden. Sie haben den großen Vorzug, daß sie einen Durchmesser von nur 1 cm haben und während der Bestrahlung nicht mit dem Meßgerät in Verbindung stehen. Ihre Ladung wird vor und nach der Bestrahlung durch Aufsetzen auf das Kondiometer ermittelt. Mit Hilfe dieser Kugelkammern gelingt es, einen umfassenden Überblick über die Dosisverteilung am Phantom zu gewinnen, wie es mit Hammer'schen Dosimetern nicht möglich wäre.

Die Kugelkammern wurden auf Pappstreifen befestigt und in entsprechend große Bohrungen des Phantoms versenkt. Die Ausmaße des Phantoms sowie die Anordnung der Kugeln gehen aus Bild 1 hervor. In der vertikalen Achse sind 8 Kugeln in einer Reihe angebracht. Ihr Abstand von der Körperoberfläche beträgt: 2, 4, 6, 8, 9, 11, 12 und 13 cm. In den horizontalen Bohrungen sind 3 weitere Meßkammern angebracht. Die Kugeln P_1, P_2, P_3 und P_4 sind an der Oberfläche des Phantoms befestigt. Die Hammer'schen Dosimeter sind mit D_1 (Querschnitt) und D_2 (Längsschnitt) bezeichnet.

Nach Anbringung der Kugeln wurden die Bohrungen mit Reis ausgefüllt und die Öffnungen mit Zellstoff verschlossen, um ein Herausfallen der Reiskörner zu verhindern.

Verwendet wurde eine Strahlung von 190 KV, 15 MA, 1,25 mm Cu H W S und ein Filter von 0,75 mm Cu. Die Pendelgeschwindigkeit betrug 180° in 27 Minuten. Die übrigen Daten wurden bei einem Pendelwinkel von 90° eingestellt, d. h. der Einstellstrahl stand senkrecht auf der Pfeilnaht. Bei allen Versuchen muß von diesem Einstellstrahl ausgegangen werden, da durch die ungleichmäßige Oberflächenkrümmung des Phantoms während der Pendelung eine weitgehende Verschiebung der Masse stattfindet und somit eine Verwertung der Meßergebnisse bei verschiedenen Einstellstrahlen nicht möglich wäre.

Alle Versuche hatten als Grundlage Krankheitsfälle, die an dem hiesigen Institut zur Bestrahlung kamen. Bei den ersten Versuchen wurde als Beispiel die Pendelbestrahlung eines Hypophysentumors genommen. Die Herdmitte wurde in einer Tiefe von etwa 10 cm angenommen. Der Fokushautabstand betrug 60 cm, der Fokusachsen-

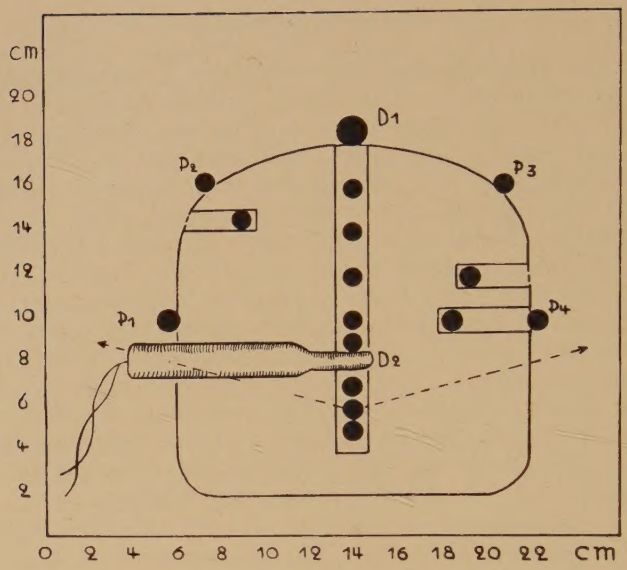

Bild 1.

Bild 1 stellt einen Querschnitt des Paraffinphantoms in Pendelrichtung dar. Die kleinen schwarzen Punkte geben die Lage der Kondensatorkugeln an, die auf Pappstreifen befestigt in die Bohrungen eingeführt worden sind. Die Kugeln an der Oberfläche sind mit P_1, P_2, P_3 und P_4 bezeichnet. D_2 gibt einen Längs- und D_1 einen Querschnitt durch ein Hammer'sches Röntgendosimeter wieder. Die von der Pendelachse in 12 cm Tiefe ausgehenden punktierten Linien umschließen einen Winkel von 150°, der während der Pendelung in 22,5 Minuten durchlaufen wurde.

abstand 72 cm. Gependelt wurde um einen Winkel von 150° und zwar von 15° bis 165° (Pendelzeit: 22,5 Minuten). Bei dem ersten Versuch wurde ein Feld von $^3/_8$ cm gewählt, der Minutenzufluß betrug 25,86 „r". Im zweiten Versuch wurden die gleichen Bedingungen beibehalten, nur wurde eine Feldgröße von $^2/_8$ cm genommen, im übrigen werden alle Abweichungen der anderen Versuchsanordnungen bei der Abhandlung der Versuchsergebnisse angeführt.

Theoretische Tiefendosisbestimmung.

Eine Grundlage zur rechnerischen Bestimmung der Tiefendosis gibt R. du Mesnil de Rochemont (12) in der „Strahlentherapie" 60 : 648. Bild 2 wurde in Anlehnung an eine Zeichnung in dieser Arbeit hergestellt.

Es entsprechen F bzw. F' dem Fokus, f der Feldbreite, H der Oberfläche, A der Pendelachse und R dem halben Körperquerschnitt. Während der Pendelung bewegt sich der Fokus auf dem

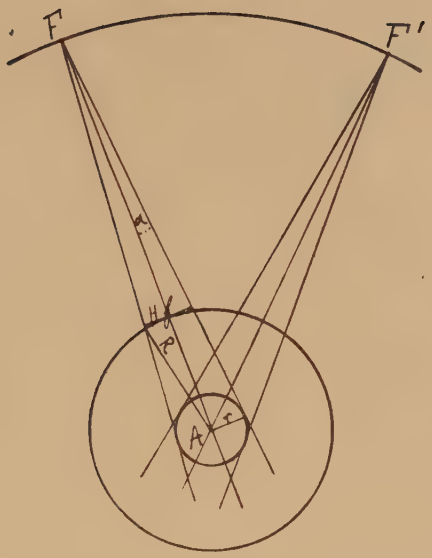

Bild 2.

Schematische Darstellung einer Pendelbestrahlung vom kreisförmigen Querschnitt, F und F' entsprechen dem Fokus, f der Feldbreite, H der Körperoberfläche, A der Pendelachse, α ist der halbe Öffnungswinkel, R der Radius des Körpers und r der des dauernd im Strahlenbereich liegenden Gebietes.

Kreisbogen F—F'. Aus dieser Zeichnung geht hervor, daß alle Punkte des Körpers nur während eines Bruchteils der Umdrehung bestrahlt werden, mit Ausnahme des zentralen Kreises mit dem Radius r, der während der ganzen Pendelzeit im Strahlenkegel liegt. Die Bestrahlungszeit innerhalb des Kreises, bezogen auf die Gesamtbestrahlungszeit ist demnach 100%. Die Größe von r ergibt sich aus:

$$\frac{f}{2} : FH = r : FA \text{ (ähnliche Dreiecke)}$$
$$r = \frac{f}{2} \cdot FA : FH$$

Bei nicht zu hohen Absorptionsverlusten muß das Maximum der Tiefendosis im Bereich des Bestrahlungsmaximums zu liegen kommen, wie auch M. Bender und A. Kohler (13) in Strahlentherapie 65 : 468 an zahlreichen Versuchen gezeigt haben. Das Dosismaximum liegt also im Bereich des Kreises mit dem Radius r und zwar an der Stelle, an welcher die Absorptionsverluste am geringsten sind, d. h. auf der Peripherie des Kreises. Je kleiner r gehalten wird, desto geringer wird der Intensitätsabfall zum Achsenpunkte sein und um so größer außerhalb des Bestrahlungsmaximums, d. h.

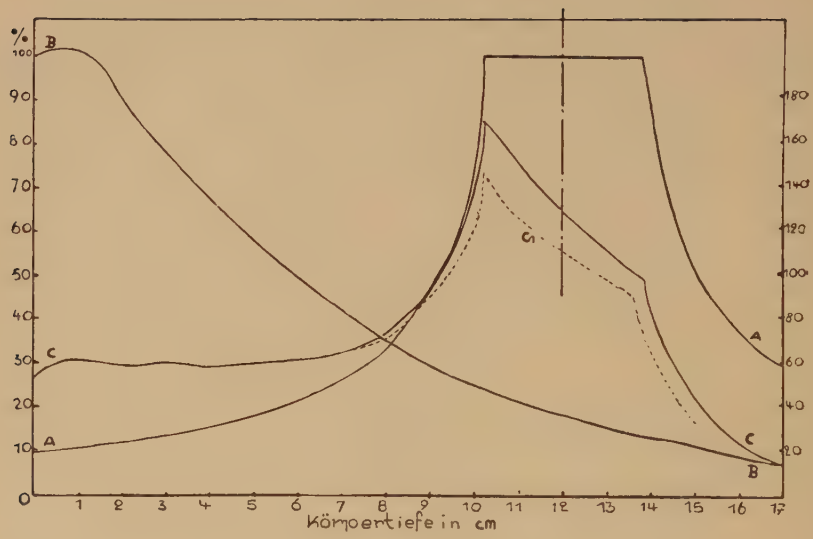

Bild 3.

Graphische Darstellung der Grundlagen für die Tiefendosisberechnung nach R. du Mesnil de Rochemont. Kurve A gibt die Bestrahlungszeit in Prozent der Gesamtbestrahlungszeit bei einer Pendelung von 150° für Punkte von 0—17 cm Körpertiefe wieder. Kurve B stellt die Tiefendosis in Prozent der Oberflächendosis nach einer im hiesigen Institut von Spenggruber (Dissertation) (19) aufgestellten Tiefenintensitäts-Schwächungstabelle dar. Kurve C_1 zeigt die errechnete Tiefendosis in „r". Kurve C ist eine Korrektion von C_1, bei der der Abweichung des Modells vom kreisförmigen Querschnitt Rechnung getragen wurde. Die strichpunktierte Linie parellel zur Ordinatenachse deutet die Lage des Pendelzentrums an.

um so günstiger wird die Dosisverteilung im Herdgebiet sein. Da r direkt proportional der Feldbreite und umgekehrt proportional dem Fokushautabstand ist, wird f möglichst klein und FH möglichst groß zu wählen sein. Die Bestrahlungszeit der Haut beträgt $\frac{100 \cdot f}{2\,R\,\pi}$ % der ganzen Bestrahlungszeit für 360°. Bei einer Pendelung um 150°, die in unseren Versuchen verwendet wurde, beträgt demnach die Bestrahlungszeit der Haut $\frac{100 \cdot f}{\frac{5}{6} \cdot R\,\pi}$ % der Gesamtbestrahlungszeit. Die prozentuale Tiefendosis bzw. das Verhältnis $\frac{\text{Herddosis}}{\text{Hautdosis}}$ wird um so günstiger, je geringer die Bestrahlungszeit der Haut, d. h. je größer der Pendelbereich und je kleiner die Feldgröße ist. Bild 3 zeigt in graphischer Darstellung die Grundlagen der Tiefendosisberechnung nach R. du Mesnil de Rochemont. Kurve A gibt die Bestrahlungszeit in Prozent der Gesamtbestrahlungszeit bei einem

Pendelbereich von 150° für Punkte von 0—17 cm Körpertiefe wieder. Die Kurve B stellt die Tiefendosis in Prozent der Oberflächendosis nach einer im hiesigen Institut von Spenggruber (Dissertation) (19) gemessenen Tiefenintensitätsschwächungstabelle dar. Die Tabelle von Grebe und Nitzge (14) konnte zu unseren Berechnungen nicht benutzt werden, da Feldgrößen unter 50 cm² nicht mehr angegeben werden. In Kurve C_1 wird schließlich die errechnete Tiefendosis in „r" dargestellt. Die Kurve C stellt eine Korrektion der Kurve C_1 dar, auf die später noch zurückgekommen wird. Die strichpunktierte Linie gibt die Lage der Pendelachse an. Der zentrale Kreis mit dem Radius r in Bild 2 kommt auf dieser Zeichnung als Plateau der Kurve A zum Ausdruck, an dieser Stelle beträgt die Bestrahlungszeit 100% der Gesamtbestrahlungszeit. Das Dosismaximum der Kurve C_1 liegt am Rande des Plateaus und nicht im Schnittpunkte mit der strichpunktierten Linie, d. h. nicht in der Pendelachse. Aus diesem Grunde wurde auch die Pendelachse in 12 cm Tiefe gelegt, obwohl die Herdmitte in einer Tiefe von 10 cm angenommen wurde.

Die Berechnung nach R. du Mesnil de Rochemont bezieht sich auf Körper mit kreisförmigem Querschnitt. Diese Voraussetzung kann nur für Punkte der Vertikalachse in einem Pendelbereich von 70°, d. h. bei einem Pendelwinkel von 55°—125°, hinreichend zutreffen. Diese Punkte liegen nach R. du Mesnil de Rochemont in einer Körpertiefe von 0—9 cm. Alle Punkte, die länger als 10,5 Minuten bestrahlt werden, d. h. während deren Bestrahlung die Röhre einen größeren Winkel als 70° zurückgelegt hat, müssen eine höhere Dosis erhalten, da außerhalb dieses Pendelbereiches der Achsen-Hautabstand und somit der Absorptionsverlust geringer ist, als in der Berechnung vorausgesetzt wurde. Diese Erhöhung der Tiefendosis wurde errechnet und in Bild 3 als Kurve C zur Darstellung gebracht.

Experimentelle Tiefendosisbestimmung.

Der erste Versuch wurde mehrmals wiederholt. Soweit es möglich war, wurden die Kugelkammern auch durch Hammer'sche Dosimeter ersetzt. Die ersten Versuche brachten sehr wenig zufriedenstellende Ergebnisse. Einige Kugeln zeigten viel zu hohe Werte. Es wurden deshalb alle Kugeln aufgeladen und erst nach längerer Lagerung ihre Ladung nachgemessen. Alle Kugeln, die einen zu hohen Ladeverlust zeigten, wurden für die weiteren Versuche ausgeschaltet. In Tabelle 1 sind die in der Vertikalachse gemessenen Röntgendosen angeführt. Die Ergebnisse dreier Versuche sind in Kolonne I, II und III zu finden, in Kolonne IV außerdem die mit den Dosimetern nachgemessenen Werte. Im Bild IV sind die in der Vertikalachse gefundenen Tiefendosen

außerdem in graphischer Darstellung wiedergegeben (Kurve E_1). In Tabelle 2 werden die Oberflächendosen aufgeführt. Die Bezeichnungen P_1—P_4 beziehen sich auf Bild 1. Die dritte Tabelle gibt die Tiefendosis für die in den drei horizontalen Bohrungen befindlichen Kugelkammern an.

Körpertiefe in cm	Dosis in „r“			
	I	II	III	IV
0	75	79	74	70
2	102	100	97	
4	115	125	105	
6	123	126	129	
8	209 (?)	157	165	170
9	167	165	167	
10	180	185	190	185
11	214 (?)	173	170	
12	163	155	160	
13	133	140	130	

Tabelle 1.

Tiefendosen in der Vertikalachse des Phantoms, die in drei Versuchen (Kolonne I, II und III) ermittelt wurden. Die Werte in Kolonne IV wurden mit einem Hammer'schen Dosimeter gemessen.

Kugelkammern bzw. Dosimeter	P_1	P_2	D_1	P_3	P_4
Pendelwinkel	20°	53°	90°	133°	160°
Dosis in „r“	81	73	70	75	82

Tabelle 2.

Oberflächendosen in „r“. Die Bezeichnungen P_1, P_2, D_1, P_3 und P_4 beziehen sich auf Bild 1.

links oben	118
links unten	124
rechts oben	110

Tabelle 3.

Dosis in „r" für die Kugelkammern in den horizontalen Bohrungen. Die Lage der Kugelkammern ist in Bild 1 zu ersehen. (Links und rechts bezieht sich auf die entsprechenden Gesichtshälften auf Bild 1.)

In Bild 4 wurden die Tiefendosen der Vertikalachse (siehe Tabelle 1) als Kurve E_1 wiedergegeben und den errechneten Werten gegenüber gestellt. Die gestrichelte Kurve stellt die nach R. du Mesnil de Rochemont errechneten Werte in ihrer ursprünglichen Form dar. Die durchgezogene Kurve B_1 wurde unter Berücksichtigung des Phantomquerschnittes errechnet.

Ein Vergleich der Kurve E_1 mit B_1 läßt vor allen Dingen vier wesentliche Unterscheidungsmerkmale erkennen.

1. Die gemessene Oberflächendosis liegt höher als die errechnete.
2. Der Durchhang der Kurve B_1 im Bereich von etwa 2—8 cm Körpertiefe ist in Kurve E_1 nicht zu erkennen.
3. Die gemessene Maximaldosis liegt höher als die errechnete B_1 (jedoch im Bereich der Meßfehler).
4. Die Kurve B_1 ist wesentlich steiler als die Kurve E_1, so wird z. B. eine Dosis über 160 „r" in einem Tiefenbereich von etwa 3 cm (von 9—12 cm Körpertiefe) gemessen, nach der Berechnung aber in einem Bereich von nur etwa ½ cm.

Ad 1. M. Nakaidzumi und T. Miyakawa (15) stellten bei ihren Versuchen über die Dosisverteilung bei der Pendelbestrahlung fest, daß besonders bei kleiner Feldgröße die Hautdosis höher liegt als nach R. du Mesnil de Rochemont errechnet wird. Die hierdurch bedingte Verschlechterung der prozentualen Tiefendosis führten sie auf eine seitlich aus dem Strahlenkegel austretende zusätzliche Streustrahlung zurück.

Ad 2. Die starke Erhöhung der Tiefendosis im Anfangsteil der Kurve E_1 dürfte ebenfalls zum größten Teil auf zusätzliche Streustrahlung zurückzuführen sein. R. du Mesnil de Rochemont (16) bringt in Strahlenther. 66 : 593 eine Gegenüberstellung der von M. Nakaidzumi und T. Miyakawa gefundenen Tiefendosen mit den nach seiner Formel errechneten Werten und stellt zumal bei den Versuchen mit kleinem Feld eine Erhöhung der Tiefendosis fest und macht hierfür ebenfalls die Streuzusatzstrahlung verantwortlich. Unabhängig hiervon fanden M. Bender und

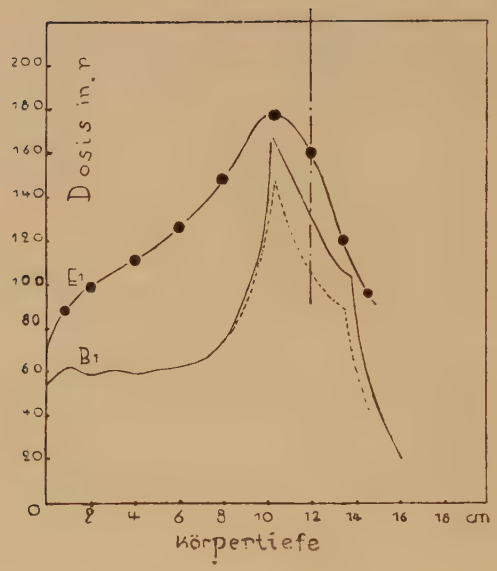

Bild 4.

Tiefendosiskurve der ersten Versuchsanordnung. Fokushautabstand 60 cm, Fokusachsenabstand 72 cm, Feldgröße $^3/_8$ cm, „r"/min-Zufluß 25, 86, gependelt wurde um einen Winkel von 150^0 in 22,5 min. Kurve E_1 gibt die Tiefendosen der Vertikalachse wieder. Die gestrichelte Kurve stellt die nach R. du Mesnil de Rochemont errechneten Werte in ihrer ursprünglichen Form dar. Die durchgezogene Kurve B_1 wurde unter Berücksichtigung des Phantomquerschnittes errechnet. Die strichpunktierte Linie parallel zur Ordinatenachse deutet die Lage des Pendelzentrums an.

A. Kohler (17) an zahlreichen Versuchen, daß durch den Streuzusatz vor allem an Stellen, die der Herdmitte zunächst lagen, die Erhöhung der Tiefendosis recht beträchtlich war.

Ad 3. Abgesehen vom absoluten Maximalwert, der recht gut mit dem berechneten Wert übereinstimmt (siehe S. 15 unter 3.), weichen die übrigen Dosiswerte im Herdgebiet stark von den berechneten ab. Diese Abweichung läßt sich in diesem Falle **nicht** durch eine Streustrahlung aus seitlichen Strahlenkegeln erklären, da dieses Herdgebiet dauernd im Strahlenbereich liegt. Meßfehler können auch nicht dafür verantwortlich gemacht werden. Diese wären zu groß. Diese vorliegende Abweichung kann nur auf die Wahl des Pendelzentrums zurückgeführt werden, bedingt durch die Lage des Tumors.

Ad 4. Interessant ist der Vergleich der linken und rechten Kurvenseite. Während der linke gemessene Kurvenast gar nicht mit dem berechneten übereinstimmt, nähert sich der rechte ge-

messene Kurvenast recht wohl dem berechneten. Im letzten Falle spielt die Streuzusatzstrahlung eine recht geringe Rolle, im ersten dagegen eine erhebliche, was ein Beweis von Ad 3 bedeutet.

Die Abflachung der Kurve im Bereich des Dosismaximums veranlaßte uns, den Versuch mit einer kleineren Feldbreite zu wiederholen. Durch diese Abflachung stand zu erwarten, daß ebenfalls bei einer Feldbreite von nur 2 cm ein Tumor von etwa 3 cm Durchmesser auch in seinen Randgebieten eine genügend hohe Dosis erhält.

Die kleinere Feldbreite hätte den großen Vorzug, daß die prozentuale Tiefendosis sich wesentlich erhöhen würde. Im vorigen Abschnitt hatten wir bereits auf Grund theoretischer Überlegungen gezeigt, daß sich durch Verringerung der Feldbreite das Verhältnis: $\frac{\text{Herddosis}}{\text{Hautdosis}}$ verbessern läßt. E. Günsel (18) vergleicht mehrere Tiefendosenkurven mit gleicher Feldgröße und verschiedener Feldbreite und erhält die höchste prozentuale Tiefendosis bei der kleinsten Feldbreite. M. Bender und A. Kohler bringen dieselbe Zusammenstellung von Tiefendosenkurven, jedoch wurden diese experimentell ermittelt. Es zeigte sich nicht nur eine Verbesserung der prozentualen Tiefendosis, sondern mit kleiner werdender Feldbreite näherte sich das Dosismaximum dem Pendelzentrum, so daß eine Verlagerung der Pendelachse unter das Herdzentrum unnötig wurde, d. h. die Pendelachse konnte in das Herdzentrum verlegt werden, wodurch wiederum eine Erhöhung der Tiefendosis erreicht wurde.

Bild 5 zeigt das Ergebnis dieses Versuches. Die Kurve E_1 ist die gleiche wie die Kurve E_1 in Bild 4. Die Feldgröße betrug $^3/_8$ cm, der Minutenzufluß 25,86 „r". Die Kurve E_2 wurde unter sonst gleichen Versuchsbedingungen bei einer Feldgröße von $^2/_8$ cm und einem Minutenzufluß von 24,7 „r" ermittelt. Aus Bild 5 geht deutlich hervor, daß die Erwartungen sich nicht erfüllten. Die beiden Kurven E_1 und E_2 laufen fast parallel. Eine Erhöhung der prozentualen Tiefendosis oder eine Verlagerung des Dosismaximums nach der Pendelachse ist kaum festzustellen. Die Ursache dürfte in der Streuzusatzstrahlung zu suchen sein. Wie Nakaidzumi (15) und auch R. du Mesnil de Rochemont (16) hervorheben, tritt der Streuzusatz besonders bei kleinen Feldern in Erscheinung. Es ist also wahrscheinlich, daß die Verkleinerung der Feldbreite unter eine bestimmte Grenze keine Vorteile bietet, da durch die hierdurch bedingte Erhöhung der Streuzusatzstrahlung die prozentuale Tiefendosis trotz der kürzeren Bestrahlungszeit der Haut nicht erhöht wird.

Der dritten Versuchsanordnung wurde der Fall eines Kleinhirntumors zugrundegelegt, der an dem hiesigen Institut zur Behandlung kam. Der Tumor lag in einer Tiefe von etwa 4—5 cm. Die Pendelachse wurde in 6 cm Tiefe gelegt, der Fokushautabstand war wiederum

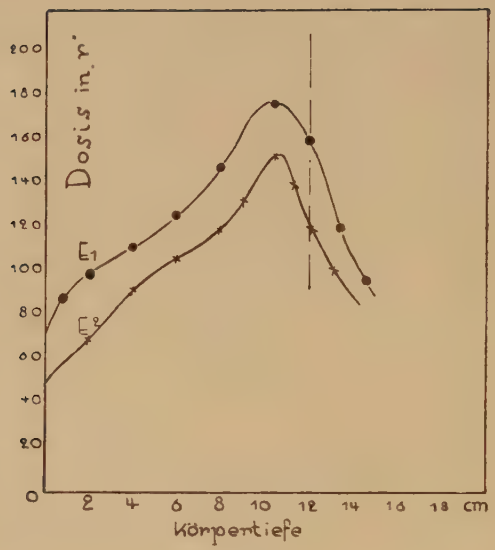

Bild 5.

Tiefendosiskurven der ersten und zweiten Versuchsanordnung. Fokushaut-abstand 60 cm, Fokusachsenabstand 72 cm. Im ersten Versuch (Kurve E_1) betrug die Feldbreite $^3/_8$ cm, der „r"/min-Zufluß 25,86 (vgl. Bild 4). Im zweiten Versuch (Kurve E_2) betrug die Feldbreite $^2/_8$ cm der „r"/min-Zufluß 24,7 „r". Die strichpunktierte Linie parallel zur Ordinatenachse gibt die Lage des Pendelzentrums an.

60 cm. Es wurde um einen Winkel von 140° gependelt. Der Min.-Zufluß betrug bei einem Feld von $^3/_8$ cm 25 „r". Während bei den ersten Versuchen der Patient eine sitzende Stellung einnahm und die Röhre über die Scheitelbeingegend pendelte, wurde der Patient in diesem Falle in Bauchlage bestrahlt, indem die Röhre über die Hinterhauptgegend pendelte. Im übrigen war die Versuchsanordnung die gleiche wie bei den ersten Versuchen. Auch die Kugelkammern wurden in gleicher Weise in eine Bohrung versenkt, die in der Vertikalachse des Phantoms angebracht war. (Durch die abweichende Stellung des Kopfes zur Pendelebene verläuft die Bohrung hierbei jedoch senkrecht zu der Vertikalachse in den vorigen Versuchen.) Alle nicht benutzten Bohrlöcher wurden mit Reis ausgefüllt.

Durch diesen Versuch sollte vor allem festgestellt werden, wieweit die bei den ersten Versuchen gemachten Erfahrungen sich auch bei einer geänderten Versuchsanordnung bestätigen würden. Die Ergebnisse wurden in Bild 6 eingezeichnet. Die experimentelle Tiefendosiskurve ist wiederum mit E, die errechnete mit B bezeichnet.

Im Vergleich zu der Kurve E_1 in Bild 4 zeigt die Kurve E in Bild 6 einen viel steileren Verlauf, was bei der geringeren Herdtiefe

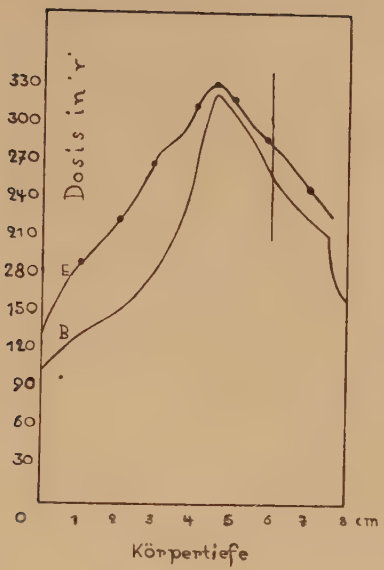

Bild 6.

Tiefendosiskurve der dritten Versuchsanordnung. Fokushautabstand 60 cm. Fokusachsenabstand 66 cm, Feldgröße $^3/_8$ cm, „r"/min-Zufluß 25,0, gependelt wurde um einen Winkel von 140° in 21 Min. Die experimentelle Tiefendosiskurve ist mit E und die errechnete mit B bezeichnet. Die Gerade parallel zur Ordinatenachse gibt die Lage des Pendelzentrums an.

ohne weiteres verständlich ist. Ein Vergleich der Kurven E und B ergibt grundsätzlich die gleichen Unterschiede, wie sie bei den Kurven E_1 und B_1 in Bild 4 gefunden wurden, auch hier finden wir Erhöhung der Oberflächendosis, Fehlen des Durchhangs im aufsteigenden Teil der Kurve, Erhöhung der Maximaldosen und Abflachung des Kurvenscheitels. Die Ursachen dieser Abweichungen dürften die gleichen wie bei den ersten Versuchen sein. Die Streuzusatzstrahlung scheint bei dem letzten Versuch geringer zu sein, was einerseits auf den kleineren Pendelbereich zurückzuführen ist, in der Hauptsache aber wohl durch die geringere Tiefe der Pendelachse bedingt wird. Zu bemerken ist jedoch, daß die errechnete Kurve B nicht korrigiert wurde, da das Phantom in der Pendelebene einen annähernd kreisförmigen Querschnitt aufwies, was eine Bestätigung der Überlegungen von R. du Mesnil de Rochemont darstellt.

Zusammenfassung und Schluß.

An einem Paraffinmodell wurden Pendelbestrahlungen vorgenommen und die Oberflächen- und Tiefendosen gemessen. Als Grundlage der Versuchsanordnung dienten zwei Fälle, die an dem hiesigen Institut zur Behandlung kamen. In dem einen Falle handelte es sich um ein Hypophysenadenom, im zweiten Falle um einen Kleinhirntumor. Die gemessenen Werte wurden mit den nach R. du Mesnil de Rochemont errechneten Tiefendosen verglichen. Da sich die Berechnung auf Körper mit kreisförmigem Querschnitt bezieht, wurden die Werte unter Berücksichtigung des Phantomquerschnittes korrigiert. Die gemessenen Tiefendosen lagen bei allen Versuchen höher als die errechneten, die experimentellen Kurven waren flacher, d. h. ihre Scheitelwinkel größer als bei den errechneten Kurven. Als Ursache hierfür wurden Meßfehler, unvermeidliche Fehlerquelle in der Versuchsanlage und in der Hauptsache eine seitlich aus dem Strahlenkegel austretende zusätzliche Streustrahlung angeführt.

Im zweiten Versuch wurde die Feldbreite kleiner als der zu bestrahlende Tumor gewählt, da durch die in dem ersten Versuch gefundene Abflachung der Kurve die Annahme gerechtfertigt schien, daß auch bei kleinerer Feldbreite die Randgebiete des Tumors eine genügend hohe Strahlendosis erhielten und andererseits die prozentuale Tiefendosis wesentlich erhöht werden könnte. Letztere Annahme wurde durch den Versuch jedoch nicht bestätigt. Die beiden Tiefenintensitätskurven laufen annähernd parallel, die Erhöhung der prozentualen Tiefendosis ist verhältnismäßig gering, was wahrscheinlich auf eine Vermehrung der Streuzusatzstrahlung bei kleinerem Feld zurückzuführen ist. Der dritte Versuch führte im wesentlichen zu den gleichen Ergebnissen, abgesehen davon, daß die absoluten Werte wesentlich höher lagen, da der Herd sich in einer viel geringeren Tiefe als bei den ersten Versuchen befand. Die Abweichungen im Anfangsteil der Kurve waren bei diesem letzten Versuch etwas geringer. Die Ursache wurde in einer verminderten Streuzusatzstrahlung vermutet, die durch den kleineren Pendelbereich und der geringeren Tiefe der Pendelachse bedingt war. Zusammenfand kann also gesagt werden, daß wir im ersten Versuch eine Oberflächendosis feststellten, die 127% der errechneten Dosis betrug, zwischen Pendelachse und Oberfläche betrug die gemessene Tiefendosis sogar 200%. Im letzten Versuch fanden wir entsprechend an der Oberfläche eine Erhöhung von 28% und in der Tiefe im Durchschnitt von etwa 47%. Diese Tiefendosiserhöhung wird wahrscheinlich zum größten Teil auf die Streuzusatzstrahlung zurückzuführen sein.

Literaturnachweis.

1. Lehrbuch der Strahlentherapie 1 (1925): 11. Herausgeber: H. Meyer, Berlin-Wien (Verlag).
2. Therap. Value of the Roentgen Ray New York Medical Journal 1903 LXXVII.
3. v. Wieser, Verh. deutsch. Röntgen-Gesellschaft 10 (1914): 177.
4. H. Henschke, Fschr. Röntgenstr. 58 (1938): 456.
5. Hans Meyer, Zbl. Cynäk. 17 (1913): 1741.
6. M. Nakaidzumi, Strahlentherapie 59 (1936): 168.
7. F. Dessauer, K. Lion und M. Gökmen, Strahlentherapie 60 (1937): 546.
8. A. Kohler, Mschr. f. Krebsbekpf. 5 (1939): 125.
9. Das Kondiometer. Prospekte des Herstellers: PTW, Freiburg i. Br., Ludendorffstr. 80.
10. R. M. Siewert, Acta radiol. (Stockholm) Suppl. 1932 Acta radiol. Stockholm 15 (1934): 193.
11. K. G. Zimmer, Fschr. Röntgenstr. Erg.-Bd. 49, Radiumdosimetrie. Leipzig 1936.
12. R. du Mesnil de Rochemont, Strahlenther. 60 (1937): 648.
13. M. Bender und A. Kohler, Strahlenther. 65 (1939): 468.
14. Grebe und Nitzge, Tabellen zur Dosierung der Röntgenstrahlen (Sonderband der Strahlenther.). Berlin und Wien 1939.
15. M. Nakaidzumi und T. Miyakawa, Strahlenther. 66 (1939): 583.
16. R. du Mesnil de Rochemont, Strahlenther. 66 (1939): 593.
17. M. Bender und A. Kohler, Strahlenther. 67 (1940): 669.
18. E. Günsel, 65 (1939): 639.
19. Spenggruber, Dissertation: Praktisch therapeutische Messungen am Phantom über den Intensitätsabfall an kleinen Feldern.

Zum Schluß danke ich Herrn Oberarzt Dr. A. Kohler für die freundliche Überlassung der Doktorarbeit und Frl. Dr. M. Bender für ihre Hilfe und die zahlreichen Anregungen, die sie mir bei meinen Versuchen gab.

Lebenslauf.

Als Sohn des Gutsbesitzers Karl Henniges und seiner Ehefrau Anna wurde ich am 16. Februar 1913 in Drenke, Kreis Höxter, geboren. Die Reifeprüfung legte ich im Februar 1935 in Höxter ab. Vom 1. April bis zum 1. Oktober 1935 genügte ich meiner Arbeitsdienstpflicht in Ringelstein, Kreis Büren. Darauf begann ich im Wintersemester 1935/36 mein erstes medizinisches Semester an der Universität zu Hamburg, wo ich im Oktober 1936 den I. Abschnitt der ärztlichen Vorprüfung bestand. Im Sommersemester 1937 studierte ich in Rostock und im Wintersemester 1937/38 ging ich nach Jena, um dort im Februar 1938 den II. Abschnitt der ärztlichen Vorprüfung zu machen. Mein erstes klinisches Semester verbrachte ich in Lausanne. Im Wintersemester 1938/39 war ich in Freiburg i. Br. Darauf besuchte ich die Universität in Wien, um dann nach Kriegsausbruch während der zwei letzten Semester an der Universität in München zu studieren. Am 15. April 1940 bestand ich vor dem hiesigen Prüfungsausschuß das medizinische Staatsexamen.